DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und **Prof. Dr. August Pütter**

Sechster Jahrgang. **12. April 1918.** **Heft 15.**

Der Wettkampf zweier Weltanschauungen in der Physik[1]).

Von Privatdozent Dr. Stanislaw Loria, Krakau.

Inhalt: I. *Thermodynamische Weltanschauung.* II. *Das Weltbild der Atomistik.* III. *Der Konflikt und das Problem.* IV. *Die Lösung des Problems.*

I.

Thermodynamische Weltanschauung.

§ 1. Gegen Mitte des XIX. Jahrhunderts legten *R. Mayer, Joule* und *Helmholtz* den Grundstein unter den monumentalen, unverwüstlichen Bau der Thermodynamik. Sie formulierten das Prinzip der Erhaltung der Energie, stellten die Unmöglichkeit des „Perpetuum mobile" fest und fanden somit den Schlüssel, der die Bilanz der Einkommen und Ausgaben in der ewig tätigen Werkstätte der Natur zu entziffern gestattet. *Jedem Körper bzw. jedem Körpersystem kann eine, nur von seinem augenblicklichen Zustande abhängige Zahl (E) zugeordnet werden. Sie stellt seinen momentanen Energievorrat dar. Ihre Änderung darf als Maß der dem System zugeführten oder von ihm gelieferten Arbeit, der von ihm verausgabten bzw. absorbierten Wärme angesehen werden.*

Aber schon in den Jahren 1850 und 1852 bemerkten *Clausius* und *Kelvin*, daß der Satz von der Erhaltung der Energie allein zur Bestimmung des tatsächlichen Weltgeschehens nicht ausreichen kann. Es wäre diesem Prinzipe gemäß nicht unmöglich, daß ein Stein, anstatt zu fallen, sich aus eigenem Antriebe in die Höhe erhebe; nur müßte die dann aufgespeicherte Energie durch entsprechende Wärmeabgabe kompensiert werden. Es widerspricht auch keineswegs dem ersten Hauptsatze der Thermodynamik, daß ein heißer Körper der kälteren Umgebung Wärme entziehe und auf ihre Kosten sich noch höher erhitze, oder daß Luft sich in einem Raume selbständig verdichte und den Energiezuwachs durch entsprechende Abkühlung vergüte.

§ 2. In der gewöhnlichen, alltäglichen Erfahrung treten jedoch derartige Erscheinungen nie auf. Alles was sich in unserer Umgebung abspielt, alles was in Zeiträumen, welche mit der Lebensdauer eines Individuums, einer Generation oder der ganzen Menschheit vergleichbar sind, in der materiellen Welt geschieht, ist irreversibel. Was sich einmal zugetragen hat, kann nie wieder spurlos rückgängig gemacht werden. Der Verlauf der Erscheinungen in der Natur spielt sich in einer Richtung ab; und wenn die Wissenschaft ein treues Bild des Naturgeschehens liefern soll, so muß sie auch die Richtung anzugeben wissen, in der sich die Zustandsänderungen eines geschlossenen, von der übrigen Welt isolierten und sich selbst überlassenen Systems in lückenloser Kette abspielen werden. Ein solches System wird, sofern es sich nicht etwa zufällig von Anfang an im indifferenten Gleichgewichtszustande befindet, mit der Zeit solchen Veränderungen unterliegen, als ob es auf vorgeschriebenem Wege einem bestimmten Endziele zustrebe. *Clausius* und *Kelvin* berufen sich auf die Beobachtung und stellen fest, daß bei diesen Veränderungen der Wärmeübergang immer nur vom heißen zum kalten Körper vor sich geht, daß kein arbeitender Motor auf Kosten der dem Kühler entnommenen Wärme getrieben werden kann. Auf diese Beobachtung stützen sie weiterhin die Behauptung, daß es möglich ist, die aufeinander folgenden, aber in bezug auf Energieinhalt einander äquivalenten Zustände des Systems gesetzmäßig zu numerieren. Es genügt zu diesem Zwecke, das System vom Anfangszustande in einen beliebigen der nächstfolgenden möglichen Zustände auf umkehrbarem, fiktivem Wege (*Carnot*) zu überführen. In entsprechenden Übergangsstadien muß man dann dem System gewisse Wärmemengen zu- oder abführen. Notiert man alle diese Wärmemengen als Einkommen bzw. Ausgaben, dividiert jeden Posten durch die Temperatur (T), bei welcher diese Transaktion erfolgte und zieht endlich die Bilanz des ganzen Unternehmens, so bekommt man für jeden Zustand des Systems eine Zahl (S), die um so größer ausfällt, je kleiner das T war.

$$S = \Sigma \frac{Q}{T}$$

Diese Zahl bezeichnet man nach *Clausius* mit dem Namen Entropie. Sie erlaubt das sog. zweite Prinzip der Thermodynamik in einem Satze zu formulieren. Er besagt: *Ein geschlosse-*

[1]) In einem der früheren Hefte dieser Zeitschrift (H. 50, 11. Dez. 1917) hat Herr *A. Einstein* dem unlängst verstorbenen polnischen Physiker *M. v. Smoluchowski* einen warmen Nachruf gewidmet und seine Verdienste für die Entwickelung der modernen Atomlehre hervorgehoben. Die Abhandlungen *v. Smoluchowskis* können, infolge ihrer mathematischen Ausstattung, nur von Fachphysikern studiert werden. Die Grundideen aber und insbesondere die wichtigsten Ergebnisse seiner theoretischen Betrachtungen können jedem Naturforscher, welcher mit den allgemeinen Prinzipien der Physik vertraut ist, zu eigen gemacht werden. Auch bieten die dort behandelten Probleme jedem wissenschaftlich Denkenden so viel allgemeinphilosophisches Interesse, daß es mir geboten schien, sie in populärer Form einem größeren Leserkreise zugänglich zu machen. Das Verzeichnis sämtlicher Abhandlungen *v. Smoluchowskis* findet der Leser in dem Aufsatze von *A. Sommerfeld*, Phys. Zeitsch. Bd. *18*, Nr. 22, S. 4.

nes, von der übrigen Welt abgesondertes, sich selbst überlassenes System kann nur in einen solchen Zustand übergehen, dessen Entropie größer ist als die Entropie des Anfangszustandes.

§ 3. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik wurde bekanntlich bald zu einem der mächtigsten Werkzeuge der Physik und Chemie. Mit seiner Hilfe wurde in den Jahren 1873—1889 die moderne physikalische Chemie geschaffen. Unter dem Banner der sog. Energetik sammelte sich eine zahlreiche Schar der Repräsentanten exakter Naturforschung. Insbesondere den Chemikern schien diese neue, mit allen Hilfsmitteln mathematischer Analysis ans Werk gehende, in den Verlauf der chemischen Prozesse eindringende und überaus fruchtbare Forschungsmethode besonders verlockend. Unter dem Zauber ihrer Erfolge fiel es ihnen nicht schwer, ihre erprobte, gestern noch einzige Führerin, die alte, verdienstvolle Atomtheorie, gänzlich zu vergessen (*Ostwald*).

II.

Das Weltbild der Atomistik.

§ 4. Die moderne Atomlehre verdankt nur ihren Namen den alten Griechen. Ihr Inhalt ist neueren Ursprungs. *Gassendi, Boyle* und *Daniel Bernoulli* haben an ihren Grundlagen gearbeitet; *Dalton* und *Avogadro* bildeten sie zu einer wissenschaftlichen Theorie aus; nach *Berzelius* war sie zur Alleinherrscherin auf dem Gebiete der Chemie geworden.

Diesem raschen Aufschwung folgte zu Ende der ersten Hälfte des XIX. Jahrhunderts ein Stadium vorübergehenden Stillstands. Die Aufstellung des Satzes von der Erhaltung der Energie bildete auch für die Atomtheorie den Anfang neuer Blüte. Wärme und Bewegung sind nicht nur äquivalent — hieß es für die Atomisten —, sie sind identisch. Was sich als Wärme in der Erscheinungswelt den Sinnen darbietet, i s t Bewegung, und zwar Bewegung der Atome oder Moleküle materieller Körper. Diese Auffassung vereinfacht in willkommener Weise die Aufgaben der physikalischen Theorie aller Wärmeerscheinungen. Denn von diesem Standpunkte aus genügt es, anzunehmen, daß zwischen den Molekülen der Materie lauter Positionskräfte nach einem bestimmten Gesetze wirken, — um jede Gesamtheit materieller Körper als ein rein mechanisches System betrachten zu können. Dieses System wird dann zwar sehr kompliziert, denn es muß als aus einer überaus großen Anzahl von Teilchen bestehend gedacht werden. Es wird aber dennoch unserem Verständnis näher gerückt, weil es nur bekannten, einfachen Gesetzen der klassischen Mechanik gehorcht. Die Aufgabe der Wärmetheorie wird von diesem Standpunkte aus als gelöst betrachtet werden, wenn es gelingt, alle den Zustand des Systems charakterisierenden Größen, wie etwa Dichte, Druck, Temperatur, Energie und Entropie, kinetisch zu interpretieren.

§ 5. Es ist allgemein bekannt, daß dieses Programm nur in bezug auf flüssige Körper und insbesondere auf Gase vollständig durchgeführt worden ist. *Joule* und *Krönig, Clausius* und *Maxwell* arbeiteten planmäßig an diesem Werke. Sein Inhalt ist in der einfachen Formel der Zustandsgleichung eines idealen Gases enthalten. Es sei m die Masse und c die Geschwindigkeit jedes Teilchens. Wir wollen mit N die Anzahl der Teilchen in einer Grammolekel eines idealen Gases und mit V ihr Volumen bezeichnen. Dann wird bekanntlich die Dichte dieses Gases durch

$$\varrho = \frac{Nm}{V} \quad \ldots\ldots\ldots (1$$

sein Druck bei konstanter Temperatur durch

$$p = \frac{1}{3}\frac{Nmc^2}{V} \quad \ldots\ldots\ldots (2$$

ausgedrückt werden. Die Berechnung des sog. mittleren Geschwindigkeitsquadrats $\overline{c^2}$ wird durch das berühmte *Maxwellsche* Verteilungsgesetz ermöglicht.

Maxwell hat uns gelehrt, den Sinn dieser Zustandsgleichung (2) von einem anderen Standpunkte aus zu erfassen: Denken wir uns jedes, auf zickzackförmiger Bahn sich beständig hin- und herbewegendes, Teilchen mit einem mikroskopischen Beobachter besetzt; geben wir allen diesen fiktiven Beobachtern den Auftrag, in bestimmten Zeitintervallen die Geschwindigkeit ihrer Fahrzeuge zu registrieren. Während der abenteuerlichen, durch zahlreiche Zusammenstöße gestörten Reise wird die Geschwindigkeit jedes Teilchens recht beträchtlichen und plötzlichen Änderungen unterliegen. Auf Grund der Rapporte unserer fiktiven mitreisenden Beobachter wären wir aber imstande, den Mittelwert der kinetischen Energie jedes Teilchens für eine längere Zeitperiode zu bestimmen. Es würde sich dann zeigen, daß diese mittlere kinetische Energie

$$K = \frac{1}{2}mc^2$$

für a l l e Teilchen gleich ist. Demnach kann der Druck auch durch

$$p = \frac{2}{3}\frac{NK}{V}$$

ausgedrückt werden, und der Vergleich dieser Formel mit dem empirisch bestätigten Ausdrucke

$$p = \frac{RT}{V}\,;\quad R = 8{,}3 \cdot 10^7$$

erlaubt

$$K = \frac{3}{2}\frac{RT}{N}$$

als Maß der Temperatur zu interpretieren. Die Gesamtenergie unseres Gases ergibt sich durch einfache Multiplikation dieser Größe mit N:

$$E = KN = \frac{3}{2}RT.$$

Boltzmann bemerkte, daß im Protokoll unseres fiktiven, mikroskopischen Beobachters noch mehr Wissenswertes enthalten ist. War nämlich die Temperatur des Gases gleichmäßig und konstant,

so wird das Zahlenregister ein Bild vollkommener Unordnung darbieten. Der Wert und die Richtung der Geschwindigkeit jedes Teilchens ändert sich dann vollständig regellos, weil jedes Teilchen dem blinden Zufall preisgegeben ist. Wären sogar zu Anfang die Moleküle geordnet gewesen, z. B. alle rascheren am Boden, alle langsameren in oberen Schichten gesammelt, so müßte dennoch in dem sich selbst überlassenen Systeme diese Ordnung recht bald durch Zusammenstöße gestört werden: Das unter Arbeitsaufwand geordnete System würde dann von selbst zur Unordnung zurückkehren.

Statistische Überlegungen belehren, daß ein Zustand des Systems, in welchem die Teilchen irgendwie geordnet sind, im Durchschnitt viel unwahrscheinlicher ist als der Zustand völliger Unordnung. *Ein geschlossenes, von der übrigen Welt isoliertes, sich selbst überlassenes System wird demnach von durchschnittlich weniger wahrscheinlichen zu mehr wahrscheinlichen Zuständen übergehen.* Laut dem zweiten Hauptsatze der Thermodynamik wird die Zustandsänderung dieses Systems durch das Wachsen der Entropie bestimmt. Zwischen Entropie (S) und Wahrscheinlichkeit (W) eines Zustandes muß demnach eine einfache Beziehung bestehen, die nach *Boltzmann* durch die Formel

$$S = \frac{R}{N} \log W$$

ausgedrückt wird. Durch diese Beziehung wurde die kinetische Interpretation der Entropie gewonnen. Damit war das Programm der kinetischen Wärmetheorie, im Prinzip wenigstens, restlos vollführt.

§ 6. Die Atomtheorie erwies sich bald als ebenso leistungsfähig wie die Thermodynamik: Ihre Methoden, Behauptungen und Gesetze genügten zur Erklärung empirisch festgestellter Eigenschaften der Gase, ihrer Ausdehnung, Kompressibilität, Wärmeleitung, innerer Reibung und Diffusion. Besonders wertvoll erschien aber die Atomistik wegen ihrer heuristischen Vorzüge. Einige Erscheinungen, die als Konsequenz der Theorie vorausgesagt worden waren, konnten „a posteriori" experimentell erwiesen werden. Die Feststellung der Tatsache, daß der Reibungskoeffizient eines Gases von seiner Dichte unabhängig ist, ebenso wie der richtig berechnete Wert der spezifischen Wärme des Quecksilberdampfes wurden mit Recht als Triumph der Atomtheorie gepriesen.

III.

Der Konflikt und das Problem.

§ 7. Gegen das Jahr 1880 stand also die kinetische Gastheorie als mächtige und ebenbürtige Rivalin der Thermodynamik gegenüber. Um diese Zeit aber begann sich gegen die Atomistik eine immer stärkere Opposition fühlbar zu machen. Zuerst waren es die Erkenntnistheoretiker, die ihr mit metodologischen und philosophischen Argumenten entgegentraten. Sie hielten die Grundhypothesen der Atomtheorie für allzu problematisch; es beunruhigte sie der Antropomorphismus des ihr unentbehrlichen Kraftbegriffes; als ein „circulus vitiosus" erschien ihnen das Bestreben, die Eigenschaften der Materie durch Atombewegungen erklären zu wollen. „Atome", — so etwa führten sie aus — „die nie gesehen, nie unmittelbar beobachtet werden können, sind ja nur eine Fiktion, ein Gebilde wissenschaftlicher Phantasie, kleine, zierliche Bausteine, die sich der Gelehrte ausgedacht hat, um aus ihnen nach Belieben mosaikartige Bilder seiner Theorien zusammenzulegen. Diese ‚Bilder' und ‚Modelle' können wohl manchmal recht geschickt eine Erscheinung illustrieren, sind aber nie als ihre notwendige, geschweige denn ihre einzig mögliche Erklärung zu betrachten. — Wer den modernen Anforderungen exakter Naturforschung genügen will, der nehme sich die Methoden der Thermodynamik und der *Maxwell-Hertzschen* Theorie elektromagnetischer Vorgänge zum Muster. Ohne geheimnisvolle ‚Kräfte', ohne ‚Atome', ohne alle Hilfsmittel der mechanisierenden Physik, erlauben diese Doktrinen die unmittelbar beobachtbaren Eigenschaften materieller Systeme durch gewisse Konstanten zu charakterisieren und den Verlauf der zu erforschenden Vorgänge durch Differentialgleichungen naturgetreu zu beschreiben. Durch dieses Verfahren wird das Ziel aller Naturforschung, eine nüchterne, klare, exakte — nach *Kirchhoffs* und *Machs* berühmter Aussage — möglichst einfache, kurzgefaßte, ‚ökonomische' Schilderung des Naturgeschehens, auf unmittelbarem Wege erreicht."

Jeder Naturforscher erinnert sich noch lebhaft an den heißen Kampf um Prinzipien der Forschung, der vor etwa 20 Jahren das Interesse aller wissenschaftlich Arbeitenden erweckte. Heute wissen wir, daß es sich damals meistens um Mißverständnisse gehandelt hat; daß der Ursprung der Meinungsverschiedenheit in bezug auf die Aufgaben einer wissenschaftlichen Theorie in dem Unterschiede der Temperamente und der intellektuellen Eigenschaften der Wissenschaftler selbst zu suchen war. Es ist uns klar, daß alle oben erwähnten Einwände nur gegen die Mittel und Wege der Forschung, nicht gegen den Wert der Theorien selbst gerichtet werden durften. Aber vor 20 Jahren war es anders. Damals trugen diese Einwände nicht wenig dazu bei, daß die Atomistik „als eine naive, kindische, zumindest entbehrliche Hypothese" bezeichnet worden ist (*Mach*).

§ 8. Bedenklicher war der Einwand, mit dem die Physiker der Atomistik entgegentraten. Alle mechanischen Vorgänge, auf die, laut der kinetischen Theorie, auch Wärme zurückgeführt werden soll — sind reversibel. Jeder augenblickliche Zustand eines Systems von diskreten Teilchen, deren Lagen und Geschwindigkeiten

bestimmt sind, kann sich ebensowohl in der gegebenen, wie auch in der ganz entgegengesetzten Richtung verändern. Es genügt, in einem beliebigen Momente die Richtung aller Geschwindigkeiten einfach umzukehren, um das System gewissermaßen rückwärts in seinen Anfangszustand zurückzubringen.

Demgegenüber sind alle Wärmeerscheinungen irreversibel. Zwei einander berührende Stücke eines Metalls von derselben Temperatur werden nie selbständig verschiedene Temperaturen annehmen. Man könnte also meinen, daß zwischen einer Wärme- und einer mechanischen Erscheinung ein prinzipieller Unterschied besteht: daß sich Wärme auf Bewegung überhaupt nicht zurückführen läßt. — Wenn *Boltzmann* hervorhebt, daß die Wärmebewegung ungeordnet, zufällig ist, so müßte er auch zulassen, daß zufällig manchmal alle Moleküle eines Körpers gleich gerichtet werden könnten; dann müßte sich aber der Körper auf Kosten seiner Wärme, also dem Satze vom Wachsen der Entropie zuwider, von selbst bewegen. Bei ganz zufälligen Bewegungen der Teilchen einer Mischung von Sauerstoff- und Stickstoffmolekülen könnte es auch manchmal vorkommen, daß sich alle Sauerstoffteilchen in einer, alle Stickstoffteilchen in gerade entgegengesetzter Richtung bewegen. Die Mischung würde sich dann von selbst entmischen — ein Vorgang, der offenbar dem zweiten Hauptsatze der Thermodynamik widerspricht und demnach als unmöglich gilt.

§ 9. *Boltzmann* bemühte sich, zu zeigen, daß der Widerspruch nur scheinbar ist; daß solche, dem zweiten Hauptsatze der Thermodynamik widersprechende Erscheinungen in der Tat möglich, aber äußerst unwahrscheinlich sind. Die Entmischung von Sauerstoff und Stickstoffmolekülen in 1 cm^3 Luft ist z. B. 10^{19}-mal unwahrscheinlicher als ihre gleichmäßige Verteilung. Die Irreversibilität thermischer Vorgänge ist nur vorgetäuscht durch den statistischen Charakter aller Erfahrungsgesetze, der es eben mit sich bringt, daß immer nur Mittelwerte zum Ausdruck gelangen, während alle zufälligen Abweichungen sich verwischen oder unmerklich bleiben.

Aber weder die Berechnungen, noch die feinsinnigen Betrachtungen *Boltzmanns*[1]), in denen er auf die Möglichkeit hinweist, der hoffnungslosen Konsequenz der Thermodynamik, dem Wärmetode auszuweichen, waren beweiskräftig genug, um die Kritiker zu überzeugen.

Die kinetische Theorie galt als überwunden. Ihr Konflikt mit der Thermodynamik blieb zwar unaufgeklärt, schien aber immer weniger Interesse zu erregen. Die Atomistik war — wie sich *Boltzmann* ausdrückt — „aus der Mode gekommen".

[1]) *L. Boltzmann*, Vorlesungen über Gastheorie *II*, S. 257 u. f. (1896).

IV.

Die Lösung des Problems.

§ 10. Bald aber änderte sich wieder die Stimmung.

Die Entwickelung der *Lorentzschen* Elektronentheorie, die Untersuchungen *J. J. Thomsons* und seiner Schüler über den Elektrizitätsdurchgang durch Gase, die Entdeckung der Kathoden- und Kanalstrahlen, die radioaktiven und photoelektrischen Erscheinungen usw. brachten neue Beweise der Leistungsfähigkeit atomistischer Denkweise in der Physik.

Boltzmanns Schüler und Anhänger, die ihrer Neigung zur Spekulation nicht widerstehen konnten, aber angesichts der allgemeinen Abneigung gegen derartige „naive" Theorien sich unlängst noch zögernd mit der Publikation ihrer Beiträge zurückhielten, — fanden jetzt plötzlich wieder wohlwollende, aufmerksame Zuhörer. Wie ein Manifest einer zur Macht wiederkehrenden kleinen Schar treuer Jünger der Atomistik erschien im Jahre 1904 die *Boltzmann-Festschrift*. Sie brachte u. a. die Abhandlung *M. v. Smoluchowskis „Über die Unregelmäßigkeiten in der Verteilung von Gasmolekülen und deren Einfluß auf Entropie und Zustandsgleichung"*.

§ 11. Der Verfasser wendet sich unmittelbar dem Probleme des Konfliktes der Atomistik mit der Thermodynamik zu. Er sieht ein, daß der von den Physikern erhobene Einwand unrichtig, daß *Boltzmanns* Antwort zutreffend war. Sie erschien den Kritikern wenig überzeugend, weil sie tatsächlich nicht ausreichend ist. In Anbetracht der großen Anzahl von Teilchen, die nur als Gesamtheit während verhältnismäßig kurzer Zeit zur Beobachtung gelangen, ist es wirklich kaum zu erwarten, daß seltene, unwahrscheinliche, der Thermodynamik widersprechende Erscheinungen deutlich hervortreten. Aber dieses Argument wird erst dann als überzeugend gelten dürfen, wenn es uns gelingt, nachzuweisen, daß solche Erscheinungen wirklich existieren, wenn wir ein Beispiel anzugeben wissen, in dem ein sog. irreversibles Phänomen in umgekehrter Richtung vor sich geht. Wer solche Beispiele finden will, der muß sie in Systemen suchen, die aus verhältnismäßig kleiner Anzahl von Teilchen bestehen. Er muß die gewöhnlichen makroskopischen Beobachtungsmethoden durch mikroskopische ersetzen; nicht nach den Vorgängen in der Gesamtheit von Teilchen, sondern nach dem Schicksal einzelner Individuen fragen. Ein Mikroskop, durch welches wir ein und dasselbe Teilchen längere Zeit hindurch verfolgen könnten, würde uns alles das offenbaren, was im Protokoll unseres fiktiven Beobachters enthalten war, aber bei makroskopischer Beobachtung sich der Aufmerksamkeit entzog. Es würde uns nämlich diese „unwahrscheinlichen" Abweichungen vom Durchschnitt zeigen, die sich als kleine Schwankungen um den Mittelwert der Zahl, der Verrückung oder

der Geschwindigkeit der Teilchen kundgeben und unter geeigneten Bedingungen festgestellt werden müßten.

§ 12. Stellen wir uns ein mit Gas unter normalen Bedingungen gefülltes, geschlossenes Gefäß vor. Das Gas möge sich im thermodynamischen Gleichgewichte befinden und einfachheitshalber der Wirkung der Schwere entzogen gedacht werden. Wir denken uns in der Mitte des Gefäßes einen unsichtbaren Würfel von 1 cm³ Volumen angebracht, und fragen nach der Zahl der Teilchen, die sich innerhalb der Wände dieses Würfels befinden. Die kinetische Theorie gibt auf diese Frage eine ganz bestimmte Antwort: $2{,}76 \cdot 10^{19}$.

Wenn wir aber bedenken, daß die Gasteilchen in beständiger, unregelmäßiger Bewegung sind, daß durch die gedachten Wände unseres Würfels immer andere Individuen hinein- und hinausgehen, daß die Lage, der Wert und die Richtung der Geschwindigkeit jedes Teilchens infolge der Zusammenstöße ganz zufälligen Änderungen unterliegen, — dann werden wir geneigt sein, zuzugeben, daß der oben genannten Zahl nur die Bedeutung eines Durchschnittswertes beizulegen ist. Die Anhäufung der Teilchen im Würfel wird sich in der Tat von Moment zu Moment ändern, jetzt etwas größer, dann wieder kleiner sein und die Abweichung vom Durchschnitt kann manchmal, zufällig, recht beträchtlich werden.

Smoluchowski zeigte, daß man mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung den Mittelwert dieser Abweichung vom normalen Durchschnitt berechnen kann. Wenn nämlich ν die „normale", n die momentan, faktisch im Würfel sich befindende Zahl von Teilchen bezeichnet, so ist der „Abweichungsgrad" oder die „Verdichtung" durch

$$\frac{n-\nu}{\nu} = \delta$$

und ihr Mittelwert durch

$$\sqrt{\overline{\delta^2}} = \frac{1}{\sqrt{\nu}}$$

gegeben. Die Wahrscheinlichkeit, daß gerade n Teilchen sich in einem bestimmten Raume befinden, wird durch die einfache Formel

$$P(n) = \frac{\nu^n e^{-\nu}}{n!}$$

ausgedrückt. Die Brauchbarkeit dieser, durch statistische Überlegungen abgeleiteten Formeln für die Kolloidchemie ist in der letzten Zeit von mehreren Beobachtern durch direkte Zählung mikroskopischer und ultramikroskopischer suspendierter Teilchen erwiesen worden; sie werden jetzt auch vielfach und mit Vorteil zur Untersuchung physikalischer Eigenschaften disperser Systeme verwendet[1]).

[1]) *Th. Svedberg*, Zeitschr. f. phys. Chem. 77, 147 (1911).
B. Ilijn, ebenda *83*, 592 (1913).
R. Constantin, C. R. *158*, 1341 (1914).
A. Westgren, Archiv f. Mat. Svensk. Vet. Akad. *II*, Nr. 8 (1916).

§ 13. Wenn demnach die Dichte des Gases beständigen Fluktuationen unterliegt, so müssen alle Formeln und alle Gleichungen der kinetischen Gastheorie, in welchen die Dichte als Faktor vorkommt, revidiert bzw. korrigiert werden. Das gilt sowohl für die Zustandsgleichung eines idealen, insbesondere aber eines nichtidealen Gases, wie auch für den Ausdruck seiner Entropie. Die Diskussion der entsprechend korrigierten *van der Waalschen* Zustandsgleichung zeigte, daß durch die Anwesenheit einer Attraktionskraft zwischen den Molekülen die Wahrscheinlichkeit lokaler Verdichtungen vergrößert wird und daß in der Nähe des kritischen Zustandes der Betrag des Abweichungsgrades gewaltig zunimmt. *Smoluchowski* erkannte, daß durch diese beträchtlichen Fluktuationen der Dichte sich das Phänomen der Opaleszenz, welches in der Nähe des kritischen Zustandes in Gasen und binären Mischungen aufzutreten pflegt, in zwangloser Weise erklären läßt. Die *Rayleighsche* Theorie der Opaleszenz beruhte bekanntlich auf der Annahme einer optischen Inhomogenität des trüben Mediums. Die Strahlungsenergie wird nämlich durch Beugung an kleinen Körnern nach allen Seiten zerstreut; das auffallende Bündel erweist sich infolgedessen nach dem Durchgang durch eine Schicht des Mediums geschwächt; diese „Auslöschung" erfolgt nach einem Exponentialgesetz, und der Exponent, welcher als Maß der sog. Extinktion gilt, hängt sowohl von dem Brechungsexponenten der Körner, wie auch von dem des reinen Mediums ab. *Smoluchowski* machte die Voraussetzung, daß die optische Inhomogenität des Mediums in der Nähe des kritischen Zustandes lediglich auf lokale Schwarmbildung von Molekülen zurückzuführen ist. Auf Grund dieser Annahme berechnete er den Extinktionskoeffizienten und fand einen Ausdruck, der später von *Einstein* näher theoretisch begründet werden konnte. Diese Theorie der Opaleszenz ist von *Kamerlingh-Onnes* und *Keesom* im flüssigen Äthylen und von *Friedländer* in binären Mischungen experimentell geprüft und bestätigt worden.

Es sei nebenbei bemerkt, daß die *Smoluchowskische* Extinktionsformel, auf ideale Gase angewendet, zu der bekannten Gleichung[1]) führt, auf der die *Rayleighsche* Theorie des Himmelsblaus beruht. Die letzte kann demnach als ein Spezialfall der allgemeinen, auf die Tatsache der experimentell erwiesenen Schwarmbildung gestützten Theorie der Opaleszenz angesehen werden.

§ 14. Ähnliche Schwankungen, wie die der Dichte, müßten sich auch an anderen Zustandsparametern des Gases nachweisen lassen. Um z. B. die Schwankungen des Druckes festzustellen, müßte man die Verrückungen einer einzelnen Gasmolekel während längerer Zeit verfolgen können. Es gibt kein Mikroskop, welches einzelne Moleküle zu unterscheiden gestattet. Denken wir uns

[1]) $h = \frac{32}{3} \frac{\pi^3}{n\lambda^4} (\mu_0 - 1)^2$

aber im Schwarm unsichtbarer Flüssigkeits- oder Gasmoleküle ein Körnchen Materie verirrt, groß genug, um unter dem Mikroskop gesehen zu werden, aber dennoch so klein, daß es dem Antriebe allseitiger Stöße wie ein Spielball zu folgen vermag. Beständig hin- und hergestoßen, wird es offenbar selbst unregelmäßige, zuckende Bewegung ausführen müssen.

Diese Bewegung wird viel einfacher sein als die Wärmebewegung der Flüssigkeitsmoleküle; jede geradlinige Strecke der Bahn des sichtbaren Teilchens wird schon eine Resultante zahlreicher unsichtbarer Verrückungen darstellen; nichtsdestoweniger darf die beständige, regellose, zuckende Bewegung als Folge der Molekularbewegung selbst erklärt und als ihr vergrößertes Bild aufgefaßt werden. Unter dem Namen *„Brownscher* Molekularbewegung" war diese Erscheinung schon seit dem Jahre 1827 bekannt und ist auch ähnlich gedeutet worden (*Ch. Wiener, Gouy, Bodaszewski*). *Einstein* und *Smoluchowski* erkannten, daß durch das Studium dieses Phänomens der Widerspruch zwischen der Atomistik und der Thermodynamik aufgeklärt werden kann. Wir wollen den Spuren *Smoluchowskis* folgen.

Er stützt sich auf die Voraussetzung, daß die mittlere kinetische Energie des suspendierten Teilchens, der mittleren kinetischen Energie der umgebenden Moleküle gleich ist. Das suspendierte Teilchen wird demnach gewissermaßen als eine riesige Molekel betrachtet. Man kann demgemäß nach dem Mittelwerte und nach der Wahrscheinlichkeit einer Verrückung des Teilchens in einer bestimmten Richtung während einer bestimmten Zeit fragen. Statistische Berechnungen führen dann zu Formeln, die von allen empirisch festgestellten Eigentümlichkeiten der Brownschen Bewegungen Rechenschaft geben. Sie erlauben z. B. die Beziehung zwischen der Beweglichkeit eines Teilchens und seiner Größe, die Abhängigkeit von der Temperatur und der inneren Reibung der Flüssigkeit in einer quantitativ mit der Erfahrung übereinstimmenden Weise wiederzugeben. Sie führen aber unter anderem auch zum Schluß, daß im Gravitationsfelde die Verteilung der Suspensionsteilchen der Verteilung der Gasdichte in der Atmosphäre entsprechen wird. Diese Konsequenz der Theorie, die in glänzender Weise durch die Erfahrung bestätigt wird, ist von weittragender Bedeutung für unser Problem; sie zeigt, daß die Brownsche Bewegung dem Sinken der Teilchen auf den Boden des Gefäßes entgegenwirkt. Jedes Teilchen der Suspension wird zwar am häufigsten in den untersten Schichten der Flüssigkeit verbleiben; es kann aber auch vorkommen, daß manche Teilchen zufällig in die Höhe gelangen und somit potentielle Energie auf Kosten der kinetischen Energie, d. h. der Wärme umgebender Flüssigkeitsmoleküle, aufspeichern werden.

§ 15. Durch eingehende Diskussion solcher Beispiele von Vorgängen, welche im Widerspruch mit dem zweiten Hauptsatze der Thermodynamik stehen, nichtsdestoweniger aber direkt festgestellt und verfolgt werden konnten, gelangte *Smoluchowski* zu einer Konsequenz von weittragender theoretischer Bedeutung. Er erkannte, daß die „par excellence" irreversible Erscheinung, die wir gewöhnlich als *„Diffusion"* bezeichnen, in einer engen, inneren Beziehung zu dem Phänomen der *„Brownschen Bewegungen"* und dem der *„Konzentrationsschwankung"* steht. Die verschiedenen Benennungen beziehen sich nämlich im Grunde genommen auf denselben physikalischen Vorgang, der nur, von verschiedenen Standpunkten aus gesehen, sich dem Beobachter in verschiedener Erscheinungsform darbietet. Dem Thermodynamiker, der mit verhältnismäßig plumpen Werkzeugen eine makroskopische Untersuchung des Vorganges vornimmt, — erscheint er als Diffusion, zu deren Erklärung ein Gefälle „osmotischen Druckes" hinzugedacht werden muß. Dem Atomistiker dagegen, der durch ein Mikroskop die Einzelheiten des Prozesses verfolgen kann, wird er sich entweder als Brownsche Bewegung oder als Konzentrationsschwankung zu erkennen geben. Ein Beobachter, welcher „diffundierende" Teilchen unterm Mikroskop verfolgt und seine Aufmerksamkeit dem Schicksal eines individuellen Teilchens zuwendet, — wird von Brownscher Molekularbewegung reden. Derselbe Beobachter wird aber Konzentrationsschwankungen registrieren, wenn er die Zahl der Teilchen, welche sich während bestimmter Zeit, in einem bestimmten Teile des Gesichtsfeldes befinden, zum Gegenstand seiner Untersuchung wählt.

An diesem Beispiele treten die charakteristischen Merkmale der Thermodynamik und Atomistik, als zweier diametral verschiedener wissenschaftlicher Forschungsmethoden, besonders klar zutage. Dort, wo die Thermodynamik durch den Begriff eines „fiktiven" osmotischen Druckes die „unsichtbaren" Molekularbewegungen und die „hypothetischen" Molekularkräfte ersetzt, um damit höchstens das Schema eines durchaus irreversiblen Vorganges zu entwerfen, dort erlaubt die kinetische Theorie, in den inneren Mechanismus der Erscheinung einzudringen und die Ursachen ihrer s c h e i n b a r e n Irreversibilität zu ergründen. *Smoluchowski* zeigte das an einem Beispiele, dessen Diskussion deswegen so lehrreich ist, weil sie in fast jedem Stadium der Rechnung der Kontrolle des Experimentes unterworfen werden kann.

§ 16. Es handelt sich um die Frage, wie schnell sich die Schwankungen um den Normalzustand abspielen? Wie lange muß man warten, bis sich ein zufälliger, abnormer, unwahrscheinlicher Zustand des Systems zum zweiten Male einstellt? Zur Beantwortung dieser Frage gelangt *Smoluchowski* durch verwickelte statistische Überlegungen, die an ein Beobachtungsprotokoll *Sved-*

bergs anknüpfen. *Svedberg*[1]) untersuchte die Konzentrationsschwankungen ultramikroskopischer Teilchen einer kolloidalen Goldlösung. Das Gesichtsfeld seines Mikroskops wurde automatisch verdunkelt und für kurze Zeitintervalle, $^1/_{32}$ Teil der Minute, periodisch beleuchtet. In dem untersuchten Raume erschienen nacheinander:

1 2 0 0 0 2 0 0 1 3 2 4 . . . usw.

Teilchen. *Svedberg* wiederholte die Beobachtung 518-mal und fand, daß die Zahlen 0 1 2 3 4 5 ziemlich oft vorkommen; es ereignete sich aber während der ganzen Serie von Beobachtungen nur einmal, daß 6 oder 7 Teilchen im untersuchten Raume beisammen waren. Die durchschnittliche Zahl der gleichzeitig anwesenden Goldteilchen lag zwischen 1 und 2. Die Anwesenheit von 7 Teilchen kann demnach schon als eine beträchtliche Abweichung von der Norm gelten. Die Rechnungen *Smoluchowskis* zeigten, daß bei der Geschwindigkeit des *Svedbergschen* Zählungsverfahrens (39 Beobachtungen in der Minute) diese ungewöhnliche Erscheinung durchschnittlich alle 27 Minuten wiederkehren wird. Sollte es sich aber einmal ereignen, daß nicht 7, sondern 17 Teilchen im untersuchten Raume zusammentreffen, so wird die Wiederkehr eines solchen „unwahrscheinlichen" Zustandes erst nach 500 000 Jahren zu erwarten sein.

Nicht minder lehrreich ist folgendes Beispiel: Denken wir uns ein mit Luft im Gleichgewichtszustand gefülltes Gefäß. Es ist a priori nicht unmöglich, daß in einem Teile dieses Gefäßes die Konzentration des Sauerstoffs infolge selbständiger Entmischung um 1 % zunimmt. Wie lange müßte man warten, bis dieser unwahrscheinliche Zustand in dem beobachteten Raume wiederkehrt? Die Rechnung zeigt, daß die Wiederkehrzeit sich in bedeutendem Maße mit der Größe des in Betracht kommenden Raumes verlängert.

Wenn wir uns auf einen kugelförmigen Raum vom Radius 10^{-5} cm beschränken, dann wird dieser „abnorme" Zustand je 10^{-11} Sekunden wiederkehren; er wird also praktisch nicht festgestellt werden können; was als „abnorm" bezeichnet worden war, wird zum Dauerzustand werden.

In einer Kugel, deren Radius nur 3-mal größer ist, beträgt die Wiederkehrzeit schon 10^8 Sekunden; die Erscheinung wird also praktisch als reversibel gelten. Würde aber dieselbe Beobachtung in einer Kugel von 1 cm Radius angestellt, so müßte der Beobachter auf dieselbe 1-prozentige Konzentrationsschwankung des Sauerstoffs $10^{(10^{14})}$ Sekunden warten; sie wäre für ihn, der mit bloßem Auge beobachtet, — praktisch irreversibel.

§ 17. Wir schließen: Die Reversibilität bzw. Irreversibilität darf nicht für eine Eigenschaft gewisser Erscheinungstypen (Diffusion, Wärmeleitung usw.) angesehen werden. Reversibel erscheint ein Vorgang, wenn sein Anfangszustand eine im Vergleich mit der Beobachtungsdauer kurze Wiederkehrzeit besitzt. Irreversibel erscheint derselbe Vorgang, wenn umgekehrt die Beobachtungsdauer kurz im Vergleich mit der Wiederkehrzeit seines Anfangszustandes ist.

Von diesem Standpunkte aus verschwindet offenbar der Gegensatz zwischen der Atomistik und der Thermodynamik. Der langjährige Streit wird gegenstandslos. Nur in bezug auf praktische Leistungsfähigkeit können beide Theorien miteinander konkurrieren; dann aber fällt das Urteil, vorläufig wenigstens, zugunsten der Atomtheorie aus.

§ 18. Diese Entscheidung nötigt naturgemäß zu weiteren Schlüssen. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik in seiner bis jetzt üblichen Fassung läuft bekanntlich darauf hinaus, daß es unmöglich ist, ein „Perpetuum mobile zweiter Art", einen Motor, der auf Kosten der Wärme seiner kälteren Umgebung arbeitet, zu konstruieren. Demgegenüber haben wir gesehen, daß ein Teilchen der Suspension auf Kosten der kinetischen Energie umgebender Flüssigkeitsmoleküle, der Schwerkraft entgegen, in die Höhe steigen, also potentielle Energie sammeln kann. Diese Energie könnte man offenbar unter geeigneten Bedingungen in Arbeit umwandeln, d. h. eben einen Motor bauen, der gegen den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik verstößt. Man müßte zu diesem Zwecke nur eine geeignete Vorrichtung, eine Art Ventil herstellen, welches zufällig verirrte Teilchen an der Rückkehr hindern, die unwahrscheinlichen Ausnahmsfälle planmäßig ausnützen und die Arbeitsfähigkeit einzelner, besonders energiereicher Individuen verwerten würde. Im Prinzip ist eine solche mechanische Konstruktion denkbar. Ihre technische Ausführung könnte allerdings an der Herstellung des Hauptbestandteiles, des Ventils, scheitern. Dieses müßte nämlich wegen seiner Zartheit und Empfindlichkeit selbst Brownschen Bewegungen unterliegen.

Mit Recht bemerkt auch *Smoluchowski*, daß ein solcher Motor praktisch wertlos wäre. Manchmal, zufällig würde er seine Arbeit tun; aber seine Leistung wäre Null. Denn je größer die in Arbeit umgewandelte Energiemenge sein sollte, desto länger müßte auf die zufällige, günstige Konjunktur gewartet werden. Praktisch bleibt daher der zweite Hauptsatz der Thermodynamik weiter geltend; — nur seine Formulierung muß etwas strenger und etwas . . . bescheidener werden. Es ist unmöglich, einen Motor zu konstruieren, welcher der kälteren Umgebung Wärme entziehen und auf ihre Kosten *beständig* Arbeit liefern könnte.

Eine unscheinbare Änderung, jedoch von prinzipieller Wichtigkeit, ein einziges Wort, — welches aber die Frucht langjähriger Gedankenarbeit birgt.

---

[1]) l. c.

Teich- und Flußplankton.

Von Dr. Bruno Schröder, Breslau.

(Schluß.)

III. Teil.

Als der Verfasser 1897 die Schwebepflanzen des Teiches im Botanischen Garten zu Breslau untersuchte, der durch einen unterirdischen Zufluß mit dem Oderstrom in Verbindung steht, fragte er sich, ob auch im freien Stromlaufe der Oder Plankton zu finden sei, und inwieweit gegebenen Falles das Plankton dieses Flusses mit dem jenes Teiches hinsichtlich der Qualität und Quantität der Schwebepflanzen übereinstimmt. Die Vermutung, daß die Planktonorganismen des Teiches im Botanischen Garten größtenteils wohl aus der Oder herstammen müßten, führte den Verfasser zur Entdeckung des Flußplanktons, über das, abgesehen von kleineren Mitteilungen über einige Organismen, bis dahin so gut wie nichts bekannt war.

In dem außerordentlich anregend geschriebenen Werke von *F. Schütt* über das Pflanzenleben der Hochsee[1]) wird angeführt (S. 9), daß die Planktonfänge im Delta des Amazonenstromes eine ziemlich reiche Bazillariaceenflora aufwiesen. Dabei erwähnt *Schütt* gleichzeitig, daß auch eine im Mündungsgebiete der Elbe entnommene Planktonprobe ähnliche Zusammensetzung zeigt. Im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Fänge an der Mündung großer Ströme fand *Schütt* in einer Probe aus dem Rhein bei Mannheim keine eigentliche Planktonflora. Genau dasselbe Resultat ergab die Untersuchung einer Planktonprobe oberhalb der Margaretheninsel bei Budapest, die der Verfasser im Juli 1897 in der Mitte des Ofener Donauarmes vom Boot aus entnahm. Von *Schenk*, der über die Grund- und Ufervegetation des Rheines von Bonn bis Köln schrieb[2]), wurde behauptet, daß der freie Stromlauf dieses Flusses algenleer sei. Demgegenüber gab *Lauterborn*[3]) an, daß er im fließenden Wasser des Rheines bei Ludwigshafen in der Pfalz zu verschiedenen Jahreszeiten echte Planktonalgen, die früher nur in Binnenseen gefunden wurden, entdeckt habe. Wie verhielten sich nun diese positiven Funde von *Lauterborn* zu den negativen von *Schütt* an der fast gleichen Örtlichkeit? In einer Abhandlung über die Vegetation der Wasserleitung in Budapest spricht *Istvánffy*[4]) von einem Plankton des freien Donaustromes, ohne aber nähere Angaben darüber zu machen. Wie verhielt sich das mit dem Befunde des Verfassers? Dieses Rätsel löst sich durch folgende Tatsache: Als der Verfasser in der Donau Plankton fischte, waren 2—3 Tage vorher, wo er sich in den Karpathen aufhielt, große Regengüsse im dortigen Tatra-, Neutra- und Liptauergebirge niedergegangen, also im oberen Flußgebiete der Waag, der Neutra und der Gran, die sämtlich oberhalb von Budapest in die Donau münden. Dieser damals stark angeschwollene Strom führte demzufolge viel Schlamm und Gesteinstrümmer mit sich. Von der schönen „blauen Donau" der Wiener war nichts zu sehen, wohl aber von der „blonden", wie sie der Ungar mit Vorliebe nennt. Ihr Wasser war allerdings ziemlich aschblond. Das Hochwasser hatte alles Plankton fortgeschwemmt. Ähnliche Verhältnisse im Flußgebiete des Oberrheines mögen auch wohl für den negativen Befund von *Schütt* im Rhein Veranlassung gewesen sein.

Dem Verfasser kam es 1897 bei seinen Untersuchungen über das Plankton der Oder darauf an, bis ins einzelne genau festzustellen, was an Algen im freien Stromlaufe der Oder sich vorfindet. Er fischte deshalb zunächst vom Juli bis zum November je 8 km unter- und oberhalb von Breslau bei Masselwitz und Neuhaus Planktonproben, und es ergab sich bei deren Durchmusterung mehrfach, daß dieselben von unterhalb dieser Stadt reicher an Individuen waren. Zwischen den Buhnen, wo das Wasser mehr stillsteht, waren die Proben sehr rein, während das mehr in der Mitte des strömenden Wassers gefischte Material mit verwesenden Pflanzen- und Tierresten, feinen Sand- und Tonteilchen usw. verunreinigt war. Im ganzen wurden 47 Arten von Planktonpflanzen festgestellt[1]), deren Zahl sich das Jahr darauf auf 65 erhöhte[2]). Nunmehr vereinigte sich *Zimmer* mit dem Verfasser, um das Oderplankton ein ganzes Jahr hindurch zu studieren, wobei ersterer den zoologischen Teil[3]) der Untersuchung übernahm. Mittlerweile hatte *Zacharias* im Sommer 1897 zwei Kulturteiche in Leipzig, die vorher mit Flußwasser aus der Pleiße angefüllt worden waren, auf Plankton untersucht, und er fand dort ebenfalls eine reiche Schwebewelt von Pflanzen und Tieren vor[4]). *Zacharias* hatte durch *Schmula* von des Verfassers Bearbeitung des Oderplanktons gehört und beeilte sich nun, nicht rückständig zu bleiben. Er ließ sich von dem Genannten Plankton aus der Oder bei Oppeln senden und sah auch Proben aus der Schlei (bei Schleswig), aus der Unter-Eider, der Trave, der Peene, der Lahn, der Havel und der Dahme allerdings ziem-

[1]) *Schütt, F.*, Das Pflanzenleben der Hochsee. Kiel und Leipzig 1893.

[2]) *Schenk, H.*, Über die Bedeutung der Rheinvegetation für die Selbstreinigung des Rheines, in Centralblatt f. Gesundheitspflege 1893.

[3]) *Lauterborn, R.*, Über das Vorkommen der Diatomeengattungen *Attheya* und *Rhizosolenia* in den Altwassern des Oberrheines, in Ber. d. Deutschen Bot. Gesellsch. 1896, Bd. *14*, Berlin 1897.

[4]) *Istvánffy, G.*, Die Vegetation der Budapester Wasserleitung, in Botanisches Centralblatt, 16. Jahrg. Cassel 1895.

[1]) *Schröder, Br.*, Über das Plankton der Oder, in Berichte d. Deutschen Bot. Gesellsch. Bd. *15*, Berlin 1897.

[2]) *Schröder, Br.*, Das pflanzliche Plankton der Oder, in Forschungsber. v. Plön Bd. 7, Stuttgart 1899.

[3]) *Zimmer, C.*, Das tierische Plankton der Oder, in Forschungsber. v. Plön Bd. 7, Stuttgart 1899.

[4]) *Zacharias, O.*, Das Potamoplankton, in Zool. Anzeiger Bd. *21*, Leipzig 1898.

lich flüchtig durch und kam[1]) ebenfalls zu dem Ergebnis (S. 41 in Sep.), „daß es ein wirkliches *Potamoplankton* gibt und daß in der Pflanzenwelt desselben die Bacillariaceen eine bedeutende Rolle spielen". Gleichzeitig hatte *Strohmeyer* für das Plankton der Elbe bei Hamburg festgestellt[2]), daß auch dort die Bacillariaceen vorwiegend seien.

Nunmehr folgte eine ansehnliche Reihe zum Teil stattlicher Publikationen über das Potamoplankton nicht nur aus Deutschland, sondern auch vom Ausland. *Steuer* gibt in seiner Planktonkunde (S. 418—420) ein ausführliches Verzeichnis davon. Hier seien von untersuchten Flüssen nur Spree, Elbe, Moldau, Weser, Rhein, Donau genannt. Die Wolga, die Newa und andere Flüsse Rußlands, die Themse und einige weitere Flüsse Englands sowie der Yangtsekiang und der Menam in Asien, der Illinois River und der Paraguay in Amerika lieferten ebenfalls Planktonmaterial, das bearbeitet wurde.

Unter anderem wurde auch die Frage nach der Herkunft des Flußplanktons erörtert. Anfangs neigte man der Ansicht zu, daß in den Quellbächen und oberen Flußläufen die Ursprungsstelle des Potamoplanktons zu suchen sei, jedoch konnte sich damals der Verfasser am Zacken im Riesengebirge überzeugen, daß auch nicht die geringste Spur von echten Planktonorganismen in dessen Wasser enthalten ist. *Lauterborn*[3]) machte an Bächen und Flüssen, die in den Oberrhein mündeten, ähnliche Beobachtungen. Heut wissen wir, daß die Altwasser, die mit dem Flusse noch oberirdisch verbunden sind, ebenso stille Buchten, Häfen oder das Wasser zwischen den Buchten die Vorratsspeicher für das Flußplankton sind, das durch die Strömung in die Mitte des Flusses hineingerissen wird. Sie versorgen also in erster Linie den freien Stromlauf mit Schwebeformen; je stärker ihre Zufuhr ist, desto größer ist auch der Gehalt des Flußwassers an Plankton. Dort setzen sich auch die Sand- und Schlammteilchen, die der Fluß mitführt, zu Boden, und deshalb ist das Flußplankton an diesen Stellen am reinsten.

Betrachten wir einmal die physikalischen und chemischen Faktoren, welche auf das Leben im Flusse einwirken. Sein Wasser ist mehr oder weniger bewegt, je nach dem Gefälle desselben. Anders braust der Bergstrom als das langsam und oft träge dahinfließende Wasser des Stromes der Ebene. Je weniger stark die Bewegung des Wassers, desto reicher kann sich Plankton entfalten. Man kann im allgemeinen behaupten, daß die Stromgeschwindigkeit und der Reichtum an Plankton im Flusse einander umgekehrt proportional sind, was freilich gewisse Ausnahmen nicht ausschließt. Der Einfluß der Temperatur ist je nach der Jahreszeit verschieden. Flüsse haben im Sommer kühleres Wasser als flache Teiche, doch kann sich auf ersteren im Winter wegen der Bewegung ihres Wassers nicht so leicht an der Oberfläche Eis bilden als auf stehenden Gewässern. Das aufsteigende Grundeis der Flüsse führt dem Wasser Sand, Schlamm und Bodenbakterien sowie Grundformen der Pflanzen- und Tierwelt zu. Dagegen kann das Licht in ihnen stets bis auf ihren Grund dringen, so daß also alle Teile ihres Wassers durchleuchtet sind. Bergströme, die ihr Wasser aus Urgestein erhalten, werden zwar an Mineralstoffen reicher, an organischer Substanz dagegen ärmer als die Flüsse der Ebene sein, die dazu noch durch Abwässer von menschlichen Wohnorten und industriellen Anlagen mit Nährstoffen bereichert und durch diese, falls sie nicht in zu großer Menge auftreten, produktiver gemacht werden. Der Sauerstoffgehalt wird im Flußwasser bei Anwesenheit von reichem Phytoplankton ein höherer sein als in pflanzenarmen fließenden Gewässern.

Was charakterisiert nun das Potamoplankton? Während das Heloplankton im allgemeinen mehr Zooplankton ist, wird das erstere vorwiegend von Pflanzen, insbesondere von Bacillariaceen, gebildet. Von den Tieren sind im Heloplankton die Krustentiere, im Potamoplankton dagegen die Rädertiere vielfach vorherrschend. Daß in letzterem mehr Pflanzen als Tiere vorkommen, liegt hauptsächlich an den besseren Ernährungsverhältnissen derselben im strömenden Wasser; denn die pflanzlichen Mikroorganismen können ihre Nahrung durch das Chlorophyll unter Einfluß des Sonnenlichtes mittels der Assimilation produzieren und dabei weit im Strome schwebend abwärts geführt werden, ohne ihre Lebenstätigkeit und ihre Vermehrungsfähigkeit einzubüßen. Bei den Tieren des Flußplanktons ist dies nicht der Fall, weil sie nicht genügend vorgebildete organische Nahrung im reinen Flußwasser finden können. Daher treten hier Protozoen, Krustaceen und andere Tiere des Heloplanktons auffallend zurück, und das Flußplankton erscheint relativ tierarm.

Von den Bacillariaceen, die im Oderplankton vorkommen, ist namentlich *Asterionella* am häufigsten. Sie bildet zahlreiche zierliche, 4—12- und mehrstrahlige Sternchen. Fast ebenso häufig sind längere oder kürzere Fäden von *Melosira granulata*, die an ihren Enden oft 1—3 lange, spitze Stacheln tragen, und schmale, stabförmige Nadeln von *Synedra delicatissima*. Außerdem finden sich noch *Diatoma elongatum*, *Fragilaria Krotonensis* und *Stephanodiscus Hantzschianus*, der einen Schwebeapparat von feinen, starren Fäden aus Kieselsäure trägt. Nicht selten finden sich die fast durchsichtigen und deshalb für gewöhnlich unter dem Mikroskop schwer sichtbaren zwei Arten *Attheya* und *Rhizosolenia*. Chlorophyceen sind nicht in solchen Mengen im Oderplank-

[1]) *Zacharias, O.*, Untersuchungen über das Plankton der Teichgewässer, in Forschungsber. a. d. biol. Station zu Plön, Teil 6, Abt. 2, Stuttgart 1898.

[2]) *Strohmeyer, O.*, Die Algenflora des Hamburger Wasserwerkes. Leipzig 1897.

[3]) *Lauterborn, R.*, Die Vegetation des Oberrheines. in Verhandl. d. naturh.-med. Vereins zu Heidelberg. N. F., Bd. 4. Heidelberg 1910.

ton anzutreffen. Von ihnen war *Actinastrum Hantzschi* am häufigsten vertreten, deren Kolonien nach dem Prinzip eines Fallschirmes angeordnet sind. Mitunter fanden sich auch *Richteriella botryoides, Lagerheimia wratislaviensis* und *Schröderia setigera*, die besondere Schwebeborsten tragen, außerdem noch *Dityosphaerium Ehrenbergi* und *Ankistrodesmus falcatus*. Bei den Tieren des Flußplanktons unterschied *Zimmer* drei Gruppen, nämlich eupotamische, tychopotamische und autopotamische Formen. Zu den ersteren gehören die Planktontiere, „die sowohl im fließenden Wasser des Flusses als auch im stehenden der Teiche, Uferbuchten usw. zusagende Lebensbedingungen finden und sich in einem wie dem anderen vermehren". Sie bilden den Hauptanteil des Zooplanktons und sind Rädertiere. Tychopotamische Planktonten nennt er die, welche nur im stehenden Wasser alle Bedingungen für ihr Leben finden, die aber, wenn sie zufällig in fließendes Wasser geraten, zwar weiterleben, aber sich nicht mehr vermehren können. Dazu gehören Krustaceen. Autopotamische Formen, die augenscheinlich dem Leben im fließenden Wasser angepaßt sind, fand *Zimmer* in dem Oderplankton nicht, wohl aber ist ein solches Tier im La Plata, dem Paraguay, dem Amazonenstrom und im Wolgagebiete gefunden worden, nämlich *Bosminopsis zernowi*, das allerdings in Japan auch in nichtfließendem Wasser entdeckt wurde, wobei nicht ausgeschlossen ist, daß es durch Flußwasser in einen Teich hineingekommen ist. Auch unter dem Phytoplankton der Oder fand der Verfasser zwei wahrscheinlich autopotamische Varietäten, nämlich *Actinastrum Hantzschi var. fluviatile* und *Synedra actinastroides var. opoliensis*, die mit Flußwasser auch in stehende Gewässer gelangten, aber dort stets vereinzelt auftraten und deshalb nicht als heloplanktonische Formen gelten können.

Hinsichtlich der Quantität des Potamoplanktons liegen ausreichende Messungen noch nicht vor. Manchmal ist der Planktongehalt der Flüsse unmeßbar klein und z. B. in der Donau bei Wien nach *Steuer* zeitweise gleich Null. Im Illinois River wurde von *Kofoid* das monatliche Planktonmittel auf 2,71 ccm pro 1 cbm Wasser berechnet. *Skorikoff* zählte durchschnittlich in ½ l Flußwasser aus der Uferregion 259 Rädertierindividuen und im gleichen Volumen Wasser aus der Flußmitte 411 Exemplare. Nach ihm nimmt die Zahl der Rädertiere nach der Tiefe zu ab, denn er fand an der Oberfläche des Udyflusses 357 Rädertiere, bei 1 m Tiefe 156, bei 2 m 101, bei 3 m 56 und bei 4 m nur 8. Von Einfluß auf die Quantität und die Qualität des Flußplanktons sind die Entstehungsweise des Flusses, die Stromgeschwindigkeit, die Flußlänge, die Art der Nebenflüsse, die Anzahl und Beschaffenheit der mit ihm in Verbindung stehenden Altwasser und der jeweilige Wasserstand. Auch der Wechsel der Jahreszeiten und die damit zusammenhängende Änderung der Temperatur und der Lichtintensität steht in unseren Breiten mit dem Planktongehalt der Flüsse in Beziehung. Im Plankton der Oder waren die Verhältnisse im Jahre 1897/98 folgendermaßen: Das Winterplankton ermangelte echter Schwebeformen gänzlich, das Frühjahrsplankton war durch *Synedra* und das Sommerplankton durch *Asterionella* charakterisiert, während das Herbstplankton wiederum als *Synedra*-Plankton bezeichnet werden konnte. In der Weser, der Donau und der Themse sind andere Periodizitäten beobachtet worden. Auch die einzelnen Jahrgänge zeigen im Plankton eines Flusses erhebliche Verschiedenheiten, wie *Schorlers* und *Volks* Untersuchungen an der Elbe erwiesen haben.

Zum Schlusse noch einige Worte über die Bedeutung des Flußplanktons. Mit dem Fortschreiten der Entwicklung großer Städte an Flüssen und mit dem damit zusammenhängenden, sich immer mehr steigernden Bedarf an Trink- und Gebrauchswasser war die Hygiene gezwungen, sich mit der Beschaffenheit des Flußwassers und der Verwendbarkeit desselben zu befassen, zumal durch die wachsende Industrie und den zunehmenden Verkehr der Flußschiffahrt das Flußwasser mehr und mehr verunreinigt wurde. Als um das Jahr 1873 das Flüßchen Croult bei Paris durch die Abwässer von Färbereien, Zucker- und Stärkefabriken sowie durch Wirtschaftswässer derartig verunreinigt wurde, daß sich ganze Bänke von Fisch-, Schnecken- und Muschelleichen in dem vorher reinen Gewässer ablagerten und dem Wasser daraufhin so intensive Schwefelwasserstoffgerüche entstiegen, daß das blanke Kupfergeschirr in den am Ufer des Flüßchens gelegenen Häusern anlief, da wurde *Gérardin*[1]) auf die Bedeutung der Wasserorganismen für die Beurteilung des Wassers hingewiesen. Anfänglich wurde der Chemiker zu Rate gezogen, der das Wasser analysierte und aus der Menge der „organischen Substanz" Schlüsse auf die Güte des Wassers zog. Aber schon 1879 wies *Hirt*[2]) auf die mikroskopische Wasseranalyse, deren Begründer *Ferdinand Cohn* ist, hin, die den Zweck hat, „die Resultate der chemischen Analyse zu kontrollieren resp. zu bestätigen, dann aber auch in zweiter Reihe, sie zu ergänzen und zu erweitern". Diese neue Methode der Cohnschen mikroskopischen Wasseranalyse konnte sich in Deutschland nicht recht heimisch machen, doch wurde sie schon in größerem Umfange gelegentlich ernster Wasserkalamitäten in England und Amerika angewandt. Erst nachdem *Robert Koch* seine bakteriologische Methode auf Wasseruntersuchungen ausdehnte, kam die mikroskopische Beurteilung des Wassers zu ihrem vollen Recht, in-

[1]) *Gérardin*, Rapport sur l'atération, la corruption et l'assainissement des rivières, in Archives des missions scientifiques et littéraires 3. série, tome *I*, 1873.

[2]) *Hirt, L.*, Über die Prinzipien und die Methode der mikroskopischen Untersuchung des Wassers, in Zeitschr. f. Biologie Bd. *15*, 1879.

dem *Mez*[1]) diesen Gegenstand zusammenfassend und gründlich bearbeitete und hervorhob, daß gerade die „Kryptogamenflora eines Wassers einen sehr wertvollen Maßstab zur Beurteilung der Verunreinigung durch organische fäulnisfähige Substanzen“ bildet. Neuerdings haben besonders *Kolkwitz* und *Marsson*[2]) die Organismen des Wassers dahin betrachtet, ob sie als Katharobien Kennzeichen ganz reinen Wassers sind, oder als Saprobien verunreinigtes Wasser anzeigen. Von letzteren unterschieden die beiden Forscher wieder Polysaprobien, die stark verschmutztes Wasser bewohnen, Mesosaprobien, die in nährstoffärmerem Wasser leben, und Oligosaprobien aus wenig verschmutzten Gewässern, und sie erhielten dadurch *Leitorganismen* für verschiedene Grade der Verschmutzung des Wassers, die auch im Potamoplankton enthalten sind. Nun hatte man gefunden, daß Flußläufe, die durch die Abwässer großer Städte verunreinigt waren, einige Meilen unterhalb der Verunreinigungsstelle wieder verhältnismäßig reines Wasser führten, sich also selbst gereinigt haben mußten. Wie war das möglich? Diese Selbstreinigung konnte durch Sedimentation, durch Einfluß von anderen physikalischen und chemischen Faktoren und durch Organismen des Flußwassers geschehen sein. *Schenck* schrieb den zahllosen Wasserbakterien die flußreinigende Rolle zu, aber nach *Bokorny*[3]) haben außer den Bakterien die Bacillariaceen, die wohl den größten Prozentsatz an Organismen im Flußplankton ausmachen, den erheblichsten Anteil an der Selbstreinigung der Flüsse. Er und *Loew* haben durch zahlreiche physiologische Versuche festgestellt, daß sowohl die Bacillariaceen wie die Chlorophyceen organische Substanzen, z. B. flüchtige Fettsäuren, Amidosäuren, Indol, Skatol, Phenylessigsäure, Harnstoff usw. (alles Stoffe, die im Wasser der durch Abwässer großer Städte verunreinigten Ströme enthalten sind) aufnehmen und bei entsprechender Verdünnung dieser Stoffe unter Abschluß von Kohlensäure aber bei Zuführung von Licht, Öl bzw. Stärke bilden können und, indem sie die ebengenannten Stoffe zersetzen, zur Selbstreinigung der Flüsse beitragen. Dieselbe große Aufgabe fällt auch den Rädertieren des Potamoplanktons neben den Bacillariaceen und Chlorophyceen zu.

[1]) *Mez, C.*, Die mikroskopische Wasseranalyse. Berlin 1898.

[2]) *Kolkwitz, R.* und *Marsson, M.*, Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna, in Mitteil. d. Kgl. Prüfungsanstalt f. Wasserversorgung u. Abwasserbeseitigung Heft 1, Berlin 1902, und dies.: Ökologie der pflanzlichen Saprobien, in Ber. d. Deutschen Bot. Gesellsch. 1908, Bd. *26 a*, Berlin 1908.

[3]) *Bokorny, Th.*, Über die Beteiligung chlorophyllführender Pflanzen an der Selbstreinigung der Flüsse, in Archiv f. Hygiene Bd. *20*.

Herbert Herkner.

Von Prof. Dr. M. Born, Berlin.

Wenn auch unter dem jungen Nachwuchs einer Wissenschaft die Begabteren bald aus der Schar der Mitstrebenden hervortreten, so ist es doch schwer zu prophezeien, bis zu welchen Höhen vorzudringen dem Einzelnen beschieden sein wird. Ein Ereignis von säkularer Seltenheit ist es, wenn ein begnadeter Genius so klar sich von dem Untergrund des Durchschnittes abzeichnet, daß der Lehrer, dem die Schulung seines Geistes anvertraut ist, das glückliche Bewußtsein hat, einen der ganz Großen auf den ersten Sprossen der Ruhmesleiter zu stützen.

Den Eindruck eines solchen Phänomens gewannen die Dozenten der Mathematik an der Universität Göttingen, als dort im Sommersemester 1913 *Herbert Herkner* seine Studien begann. Es zeigte sich, daß *Herkner* einen großen Teil des Wissenstoffs, den die Studenten in acht bis zehn Semestern zu erwerben bestrebt sind, bereits besaß, als er zur Universität kam. Nach einjährigem Studium war er bis zu den Grenzen der heutigen Erkenntnis vorgedrungen, und wenn er auch die höheren Vorlesungen besuchte und an den Übungen und Seminaren für Fortgeschrittene teilnahm, so befand sich sein Geist doch schon außerhalb des Gebietes der überlieferten Lehre in den Vorbergen des Landes der Forschung. Dies war eine Erscheinung, die alle Fachgenossen, die mit ihm in Berührung kamen, mit einem ehrfürchtigen Staunen erfüllte und mit der Hoffnung, durch ihn eine neue Blüte der Mathematik erwachsen zu sehen. Ein tragisches Schicksal hat diese Hoffnung, wie so viele, zerstört. *Herkner* ist am 22. November 1917 in der Schlacht bei Cambrai gefallen. Über die eigenartige Persönlichkeit dieses edlen Menschen, mit dem ein Teil der geistigen Zukunft Deutschlands vernichtet ist, sollen diese Zeilen kurzen Aufschluß geben.

Als Sohn des bekannten Nationalökonomen wurde *Herkner* am 4. Februar 1894 in Karlsruhe geboren. Seine Schulzeit hat er zum großen Teile in Zürich verbracht; er besuchte dort die Beustschule, die durch ihren freien Lehrgang und die vorzüglichen Lehrer den besten Grund für die geistige Entwicklung des Knaben legte. Schon damals trat seine Begabung und die Richtung seines Geistes, die auf das klare Durchdringen der Dinge gerichtet war, zutage. Als zehnjähriger Knabe brach er ein Gespräch mit seiner Mutter, die seine Gedanken auf Gott und die Unendlichkeit zu lenken versuchte, mit den Worten ab: „Mich interessiert nur, was Menschen begreifen können.“ Das aber suchte er mit allen Sinnen zu fassen. Physikalische Versuche, astronomische Beobachtungen erfüllten seine freien Stunden und gaben seinem jungen Leben ernsten Inhalt. Dabei war er kein Stubenhocker, sondern ein froher, wilder Knabe. Als sein Vater 1907 nach Berlin berufen wurde, hatte *Herkner*

anfänglich auf dem Kaiser-Friedrich-Gymnasium infolge des veränderten Lehrplanes eine schwere Zeit und mußte vieles nachlernen. Für seine Frühreife in der Mathematik zeugt es, daß er das mathematische Pensum eines halben Jahres in einer einzigen Stunde nachzuholen wußte. Verständlich wird das, wenn man die Hefte durchblättert, in denen er als 12- bis 14-jähriger Knabe seine mathematischen Gedanken niedergelegt hat; die Elemente der höheren Analysis waren ihm damals schon so geläufig, daß sie nicht als Objekte der Untersuchung, sondern nur als alltägliches Handwerkzeug bei seinen Spekulationen in Betracht kamen. Diese betreffen nicht nur Fragen der Arithmetik und Algebra, der Funktionentheorie, der Geometrie und der mathematischen Physik, sondern vor allem Probleme der Axiomatik, Untersuchungen über die Grundlagen der Wissenschaft und ihre logischen Zusammenhänge, jenes große Grenzgebiet zur exakten Philosophie, das für jugendliche Geister so große Anziehungskraft hat. Wohl sind diese Versuche des Knaben vom heutigen Standpunkte der Wissenschaft gesehen nur Ansätze und ohne objektiven Wert; als Zeugnisse eines werdenden Riesengeistes sind sie aber von erschütternder Eindringlichkeit. Zwischen diesen mathematischen, physikalischen, philosophischen Fragmenten finden sich Aufsätze über grammatische oder ethymologische Fragen, auch Gedichte und Prosasätze eingestreut; alles zeugt von einer universellen Begabung und dem heißen Drange nach Gründlichkeit und Vertiefung, der noch seltener ist als Genie. Dem mathematischen Unterricht der Schule war *Herkner* bald vollständig entwachsen, und auch in den anderen Fächern war er ein ausgezeichneter Schüler. Aber er wußte selbst nichts von seiner Einzigkeit; er war seinen Mitschülern ein guter Kamerad und hatte viele treue Freunde. Eilte sein Geist den anderen voran, so wurde er dadurch nur still und ein wenig verschlossen; was seine Gedanken am meisten bewegte, mußte er allein bewältigen, da kein anderer ihm folgen konnte. Sein schönes Gesicht mit den tiefen Augen und dem ein wenig zusammengepreßten Munde ließ diese geistige Einsamkeit ahnen. Die Harmonie seines Wesens prägte sich nicht nur in seinem Kopfe aus, sondern in der ganzen prachtvollen Gestalt. Seinen schönen Körper hatte er ebenso erzogen wie seinen Geist; er war ein guter Turner und Schwimmer. So wurde er auch ein guter Soldat.

Als der Krieg ausbrach, stand er im dritten Semester seines Studiums. Mit tausend anderen zog es ihn hinaus zur Verteidigung des Vaterlandes. Aber er gab mehr auf als andere; denn wen das Schicksal begnadet, den trifft es auch mit seinem Stachel, daß er keine Ruhe findet außer seiner Aufgabe, daß ihn die Leidenschaft faßt für den Weg zur Wahrheit, der ihm gewiesen, und daß er leidet, wenn er seine Arbeit entbehren muß. So mag *Herkner* gelitten haben, wie kaum ein anderer, als die Treue zu seinem Stamme ihn fortrief zu einer harten Pflicht, die der Harmonie seines Wesens so wenig entsprach. Ein Jahr als Musketier, später als Leutnant hat er die schweren Kämpfe in Flandern, an der Aisne, bei Soisson, den Donauübergang und den Feldzug in Serbien, schließlich die Schlachten um Verdun mitgemacht. Beim Sturm auf Douaumont wurde er leicht verwundet. In den furchtbaren, monatelangen Schlachten in Flandern 1917 war sein Regiment eingesetzt, und als es endlich von dort zurückgezogen wurde, mußte es bei Cambrai eingreifen.

Dort fand *Herkner* beim ersten Sturmangriff den Tod.

Er hat diese Zeit der härtesten Prüfungen ohne Klage getragen. Die volle Hingabe an seine Aufgabe half ihm über den Verlust seiner Wissenschaft hinweg. Er war tapfer und seiner Verantwortung bewußt; als er Offizier wurde, vertiefte er sich in militärische Schriften und studierte Taktik mit der ihm eigenen Gründlichkeit. Die Zeiten der Ruhe aber gehörten seiner Wissenschaft; was er sann, wissen wir nicht, aber wir ahnen ein großes Ziel. Vielleicht werden einige nachgelassene Notizhefte darüber Aufschluß geben.

Wenn die Dankbarkeit für die Leistungen eines arbeitsreichen Lebens einen Nachruf rechtfertigen, so wird auch die Trauer um begrabene Hoffnung einen Ausdruck finden dürfen. Das ist dieser Zeilen Recht und Sinn.

Besprechungen.

Weihe, C., Max Maria von Weber, ein Lebensbild des Dichter-Ingenieurs mit Auszügen aus seinen Werken. Berlin, Julius Springer, 1917. 123 S. Preis M. 2,40.

Weihe zeichnet mit wenigen kräftigen Strichen das Lebensbild eines Mannes, der gleichsam wie ein Symbol an der Schwelle unseres Zeitalters steht; war der Sohn des großen Tondichters doch einer der einflußreichsten Verwaltungsingenieure, die sich um die Einführung der Eisenbahn in Deutschland und Österreich-Ungarn verdient gemacht haben. Daß er zugleich dichterische Begabung besaß, erhöht den Reiz seiner zahlreichen Abhandlungen, Reisebeschreibungen und Schilderungen aus dem Gebiet der Technik. Das Wertvollste aber ist der ganze Mensch; nichts ist für ihn charakteristischer, als die Bemerkung in einer Abhandlung über die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise: „Es kann eben niemand ein ganzer Techniker sein, der nicht ein ganzer Mensch ist!" Seine Abhandlungen sind voll von originellen Gedanken. Wer sich für Kulturfragen interessiert, dürfte an diesem Büchlein nicht vorübergehen. *E. Zschimmer, Jena.*

Für die Redaktion verantwortlich: *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann in Berlin SW.